

합성형 페리자성층을 이용한 스핀밸브 구조의 교환결합 특성

고려대학교 박건형*, 이성래, 김영근

Exchange Coupling of Synthetic Ferrimagnet-Based Spin Valves

Korea University G. H. Park*, S.-R. Lee, Y. K. Kim

1. 서론

20 Gbit/in² 이상의 기록밀도를 가진 자기저장기기의 지속적인 발전은 스핀 밸브(SV)의 두께 감소를 필요로 하고 있다. 결과적으로 재생센서가 μm 이하의 크기로 감소될 때 고정층을 안정화시키는 것이 중요한 문제가 되었다. 고정층을 안정화시키는 방법으로 합성형 페리자성체(Synthetic Ferrimagnet, SF) 구조를 이용한 스핀밸브에 많은 관심을 갖게 되었다. SF구조는 기존의 고정층을 삼층 구조인 P2/Ru/P1으로 대체하여 새로운 메카니즘으로 고정층을 구성하고 있다. 여기서 강자성체인 P1과 P2는 강한 교환결합에 의해서 반 평행 배열을 하고 있다. 강한 반평행 결합에 의해 일반적인 스핀 밸브 구조에서 발생하는 고정층의 불안정성을 극복할 수 있는 장점을 갖는다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 bottom 구조의 Ta 5/seed layer(NiFe, Cu, Ru) 2~4/IrMn 9/CoFe(P1) 1.5/Ru 0.7/CoFe(P2) 3/Cu 2.8/CoFe 1.6/NiFe 3.2/Ta 5 (nm)의 다층막을 마그네트론 스퍼터링으로 제작하였다. 자기저항과 교환결합력을 Δt ($=tP2-tP1$)를 변화시키면서 같은 두께를 가진 top 구조와 비교하였다. 또한 하지층의 종류(NiFe, Cu, Ru = 0.2~0.4 nm)와 증착 후 200~300°C에서 0.3~2 kOe의 외부 자장과 10^{-6} Torr의 진공도에서 열처리 한 시편의 변화를 XRD, VSM과 four point probe를 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

우선 교환결합세기 H_{ex} 는 하지층의 두께와 종류에 덜 민감하고 XRD분석에 의하면 서로 다른 하지층이 사용된 bottom spin valve(B-SV)와 top spin valve(T-SV)구조에서 IrMn과 FCC 구조를 가진 다른 금속층들에서 공히 (111)우선방위가 잘 형성되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 실험결과는 주로 2 nm의 두께를 가진 NiFe 하지층을 사용한 시편 위주로 논의할 것이다.

Figure 1은 다양한 스핀 밸브의 MR거동을 보여주고 있다. B-SV(Fig. 1(a))에서 MR 곡선의 sub-peak은 Δt 가 1.5 nm (= 3.0-1.5 nm)가 될 때 사라지게 된다. 그러나 같은 Δt 를 가진 T-SV (Fig. 1(b))에서는 이러한 현상이 관찰되지 않았다. 한편 T-SV 시편은 B-SV의 H_{ex} (~400 Oe)에 비해 높은 값(~600 Oe)을 보여주고 있다. 이것은 H_{ex} 가 일반적인 SV와는 달리 SF-SV에서는 고정 층을 이루고 있는 두 자성 층의 두께차이에 민감하기 때문에, 증착 중 증착 순서에 따른 층구조의 변화에 따라 Δt 가 변했다는 간접적인 증거로 생각할 수 있다. Fig. 1(c)는 Δt 가 2.0 nm (= 3.0-1.0 nm)인 T-SV의 MR 곡선을 보여주고 있다. 이것은 놀랍게도 Fig. 1(a)에서의 MR 곡선과 매우 유사한 모양, 즉 sub-peak이 없고 H_{ex} 의 감소를 보여주고 있다.

B-SV에서는 Mn보다 큰 표면에너지를 가진 Co와 Fe이, 증착 중 쉽게 IrMn층으로 CoFe의 계면섞임이 생겨 자성층인 P1의 일부분이 자기적인 역할을 하지 못하는 dead layer가 형성되었다고 고려할 수 있다[1, 2]. Auger electron spectroscopy(AES)로 분석을 하였으나 0.5 nm의 계면섞임을 관찰하기에는

해상도가 이 범위를 넘어서기 때문에 뚜렷한 차이를 관찰할 수 없었다.

Figure 1(d)는 (b)와 같은 시편을 300°C 10분간 0.3 kOe의 외부자장을 가해주면서 열처리한 후 실온에서 측정한 MR 곡선이다. 확대한 sub-peak을 비교해 보았을 때 (b)에 비하여 peak의 높이가 감소됨을 발견할 수 있었다. 계면확산에 의해서 Δt 가 증가하였음을 알 수 있었고 이것은 IrMn층에 접한 P1층의 자기적인 두께가 감소하였다고 해석할 수 있다. 이러한 분석은 T-SV에서 열처리 후 H_{ex} 의 급격한 감소를 설명할 수 있는 결정적인 증거를 제시해주고 있다. 향후, 증착 중 계면섞임 현상과 열처리에 의한 계면확산 현상의 직접적인 증거를 확보하기 위한 추가적인 미세분석이 필요할 것이다.

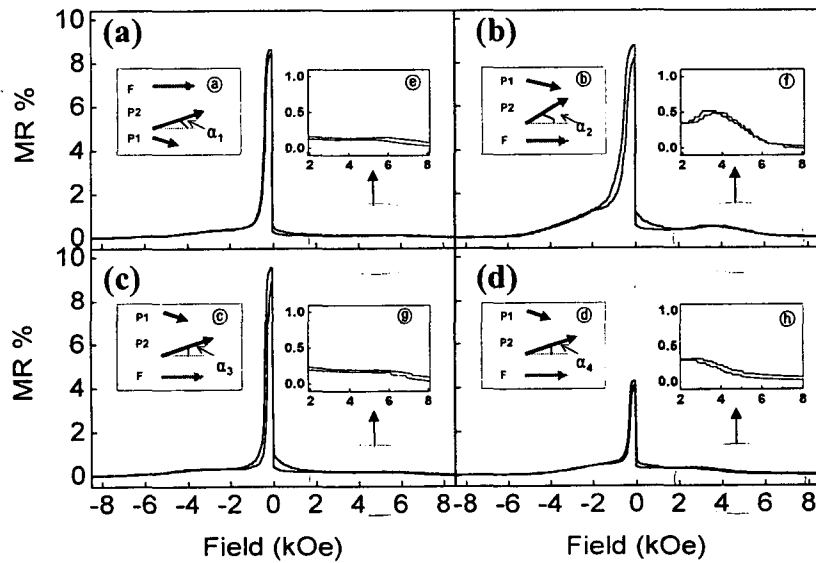


Fig. 1. MR curves of various SF-SV films: (a) B-SF-SV with $\Delta t(1.5\text{nm}) = t_{P2}(3.0) - t_{P1}(1.5)$, (b) T-SF-SV with $\Delta t(1.5\text{nm}) = t_{P2}(3.0) - t_{P1}(1.5)$, (c) T-SF-SV with $\Delta t(2.0\text{nm}) = t_{P2}(3.0) - t_{P1}(1.0)$, and (d) T-SF-SV with $\Delta t(1.5\text{nm}) = t_{P2}(3.0) - t_{P1}(1.5)$. Annealing was performed at 300°C for 240min in vacuum of 10^{-6} Torr under the magnetic field around 300Oe. Insets show the magnetization direction of each layer (a, b, c and d) and magnified sub-peaks (e, f, g, and h).

4. 결론

다층박막을 제작할 때 표면에너지의 차이에(특히 IrMn/CoFe(P1)에서) 인한 계면섞임과 이로 인하여 열처리 후 T-SV와 B-SV에서 계면확산 현상에서 많은 차이가 있음을 관찰하였다. 이러한 현상은 nm이하의 두께를 제어하는데 있어서 중요한 인자라고 판단되며 SV의 설계시 반드시 고려해야 할 사항이다.

5. 참고문헌

- [1] M. Kowalewski, W. H. Butler, Moghadam, G. M. Stocks, T. C. Schulthess, K. J. Song, J. R. Thompson, A. S. Arrott, T. Zhu, J. Drewes, R. R. Katti, M. T. McClure, and O. Escorcia, J Appl. Phys. 87, 5732 (2000).
- [2] G. Gilarowski and H. Nieuws, Phys. Stat. Sol., 173, 159 (1999).